

文章编号: 1001-5078 (2006) 010-01004-03

毫米波辐射计对金属目标的探测

袁 龙, 尹 明, 尹忠科, 王建英
(西南交通大学信息科学与技术学院, 四川 成都 610031)

摘 要:针对金属目标的探测问题,依据金属的毫米波辐射特性,提出一种基于毫米波辐射计成像的金属目标探测方法。该方法首先利用毫米波辐射计扫描目标并成像,再用区域标记算法标记成像图像,通过分析标记区域的面积排除干扰信息,最后检测出金属目标。实验表明,该方法能够从各种背景中有效检测出金属目标,为下一步目标的识别、跟踪与定位提供了依据。

关键词:图像处理;目标探测;毫米波辐射计;毫米波辐射图像

中图分类号: TN958.97 **文献标识码:** A

Research on Metal Target Detection by Millimeter-wave Radiometer

YUAN Long, YN Ming, YN Zhong-ke, WANG Jian-ying

(School of Information Science & Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Aimed at the problem of metal target detection, a metal target detection method based on millimeter-wave radiometer imaging is proposed, according to the millimeter-wave radiometric characteristics of metal. Firstly, the method utilizes millimeter-wave radiometer to scan target and image. Secondly, the image is labeled with region labeling algorithm. Thirdly, the fake target information is excluded through analyzing the area of labeled regions, and the metal target is then detected. Experimental results show that the method can detect metal target effectively from various background, therefore, it provides a base for later target recognition, tracking and location.

Key words: image processing; target detection; millimeter-wave radiometer; millimeter-wave radiometric image

1 引言

金属目标的探测在军事侦察、遥感、安全检查等方面有着重要的应用价值,而传统的探测手段如雷达等,由于必须发射信号并根据接收的回波对目标进行探测,不可避免存在隐蔽性差、对隐身目标无法探测等缺点,而毫米波辐射计具有较强的区别金属目标和周围环境的能力^[1],它依靠 35、94、140、220GHz 的大气传播窗口^[2]接收地面或空中的物体及背景热辐射能量,有较大的系统带宽,不发射任何信号,可以实现全天候、全天时工作,并且设备简单,隐蔽性好,因此利用毫米波辐射计对金属目标进行探测具有独特优势。

毫米波辐射计目标探测方式主要有两种,一种

是非成像方式;另一种是成像方式。利用非成像方式对金属目标的探测已有详细论述^[3-4],但提供的信息量小,如目标的形状、大小和位置等;利用成像方式探测金属目标则报道较少,即使有也是将重点放在成像过程上并且背景单一^[5],而对于有复杂背景干扰情况下的金属目标检测则很少涉及。本文将采用 8mm 辐射计对包含目标的场景进行扫描,获取场景的图像,利用图像处理技术去除背景干扰信

基金项目:教育部留学回国人员科研启动基金(教外司[2004]527号);四川省科技攻关项目(04GG021-020-5)。

作者简介:袁 龙(1982-),男,硕士研究生,研究方向为图像处理与传输。

收稿日期:2006-05-22

息,检测出金属目标。

2 金属目标探测原理

在毫米波波段,不同物质的辐射温度差别很大,一般来说,相对介电常数高的物质,发射率低,反射系数大,因此在同样的物理温度下,高导电材料的辐射系数小,辐射温度低,即比较冷,利用金属与其它物质辐射温度的这种差异,即可探测出金属目标。

假设金属目标充满毫米波辐射计的整个扫描波束,大气衰减忽略不计,当毫米波辐射计扫描到金属目标时,天线附近的温度为^[1]:

$$T_A = \tau T_S + \tau T_{AT} \tag{1}$$

式中, τ 为金属目标的发射系数; T_S 为天顶的毫米波辐射温度; T_{AT} 为大气的毫米波辐射温度。地面和金属目标的对比度为:

$$T_A = T_{BG} (\cos \theta, \cos \theta, \pi - \theta) - T_A \tag{2}$$

其中, T_{BG} 为天线扫描到背景时的天线温度,由于金属与地面背景的视在温度差很大,对于 30 的观测角,这一差值约为 200 ~ 250K,因此当毫米波辐射计天线波束扫过金属目标和地面背景时,天线温度或者天线温度对比度的变化是很显著的,判断 T_A 即可检测出金属目标。但是,如果存在辐射特性与金属相似的背景,如天空等,由于辐射计的灵敏度及图像的灰度级所限,根据成像结果很难将这些背景与金属目标分开的,此时就需要采用图像处理技术排除这些背景的干扰,进而检测出金属目标。

3 毫米波辐射计成像系统

如图 1 所示,毫米波辐射计成像系统由输入设备、处理设备、输出设备三部分组成,其中输入设备包括天线、毫米波辐射计和驱动装置,处理设备包括 PC 主机及安装在主机上的数据采集卡,输出设备主要包括显示器和存储器。系统采用灵敏度较高的全功率辐射计,采用 PC 机对整个系统进行控制,可选择扫描方式。探测系统的结构及各组成部分叙述如下:

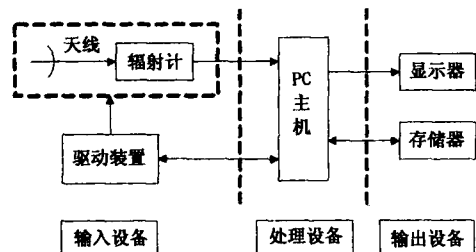


图 1 毫米波辐射计成像系统

(1) 天线:采用直径为 900mm 多波束聚焦天

线,3dB 波束宽度为 0.6°,系统工作于机械圆锥扫描,可预设一定角度控制转台旋转天线的范围。

(2)毫米波辐射计接收机:接收通道采用直接检波式,中心工作频率为 35GHz,系统带宽为 5GHz,积分时间为 2ms,灵敏度为 0.2K。

(3)扫描驱动装置:主机通过 RS-232 串行通信端口对扫描装置进行控制,驱动负载天线、接收机等,按照软件设定的参数作方位、俯仰运动,并实时向主机提供方位、俯仰角度等参数信息。设备旋转时,系统的天线通过正反两次扫描进行工作,在反向扫描前,垂直移动天线 0.24°,即俯仰面步进转动,步进角为 0.24°。

4 金属目标探测

4.1 目标的毫米波辐射图像采集

由图 1 可以看出,毫米波辐射计的输出信号直接送入 PC 主机,但由于辐射计输出为模拟电压信号,需要转换为数字信号才能被计算机处理,因此选用 NI(National Instruments)公司 PXI 总线的高精度 NI 6254 数据采集卡对输出信号进行采集,并将采集数据保存在硬盘上,同时根据辐射计定标方程:

$$T_A = \frac{(V_{out} - V_h)(T_h - T_c)}{V_h - V_c} + T_h \tag{3}$$

式中, T_A 表示天线温度; V_{out} 表示辐射计输出电压; T_h 与 T_c 表示高低温定标噪声源的噪声温度; V_h 与 V_c 表示高低温噪声源对应的输出电压。对辐射计输出数据进行校准,获得准确的天线温度值,最后将天线温度数据按照图像格式转换为 BMP 灰度图像,并在显示器上输出显示,实现扫描场景的成像。图 2 给出了某场景的成像结果,其中高亮度区域表示发射率低的目标,如金属、天空等,而图像中较暗的部分对应发射率高的物体,如建筑物,大地等。

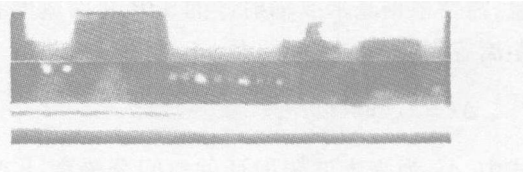


图 2 毫米波辐射图像

4.2 毫米波辐射图像中金属目标检测

根据毫米波辐射图像的特点,从图 2 可以看出,图像中较暗的部分为建筑物等背景,而较亮的部分不仅包括需要探测的金属目标,也包含天空背景等干扰信息。需要进一步分析以便检测金属目标,其检测方法:首先通过图像的二值化去掉建筑物等背

景,再利用区域标记算法标记二值图像,并统计各个目标的面积特征,据此排除天空等背景的干扰,最终检测出金属目标。

(1)毫米波辐射图像二值化

由于金属目标与地物背景的天线温度差很大,其灰度直方图具有双峰特性,故采用全局阈值对毫米波辐射图像进行分割,本文采用 Otsu 法^[6-7]计算全局阈值,再对二值图像进行中值滤波,结果如图 3 所示。

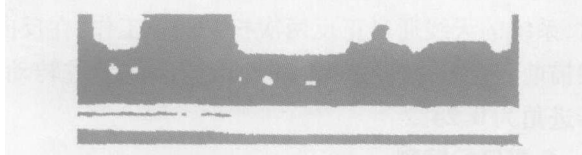


图 3 中值滤波后的毫米波辐射二值图像

(2)二值图像区域标记

假设 P 和 Q 是图像中灰度值为 1 的目标像素, $p_0 = P, p_n = Q, \forall 1 \leq i \leq n$, 如果存在路径 $(p_0, p_1 \dots p_n)$, 并且 p_{i-1} 与 p_i 相邻, 则认为 P 和 Q 是连接的。在区域标记中, 如下所示:

$$\begin{array}{cccc} p & q & r & p \\ s & x & & q & x \end{array}$$

如果目标像素 x 的标记由 $\{p, q, r, s\}$ 确定, 则称为 8-连接, 如果 x 的标记由 $\{p, q\}$ 确定, 则称为 4-连接。为了快速标记图像, 本文采用 8-连接算法^[8]进行区域标记, 标记结果如图 4 所示。

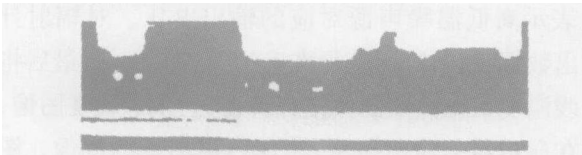


图 4 8-连接算法标记后的图像

(3)金属目标检测

为了从标记后的图像中排除天空背景等干扰信息, 需要根据毫米波辐射计的 3dB 波束宽度和探测距离等判断金属目标的大小。在本实验中,

$$x = 2 \times h \times \tan \frac{\theta}{2} \quad (4)$$

式中, x 为毫米波辐射计的空间分辨率; h 为辐射计到目标的垂直距离; θ 为 3dB 波束宽度, 假设辐射计的瞬时视场为圆形区域, 则每个像素对应的面积 S 为:

$$S = \frac{\pi}{4} x^2 = h^2 \tan^2 \frac{\theta}{2} \quad (5)$$

由于探测的金属目标一般都不大, 因此计算出白色区域的面积后, 再根据面积特征即可排除干扰

背景, 检测出金属目标。据此, 分离出的天空等干扰背景如图 5 所示, 检测出的金属目标如图 6 所示, 对应原始毫米波辐射图像 (图 2) 可以看出, 主要的金属目标均被检测到。

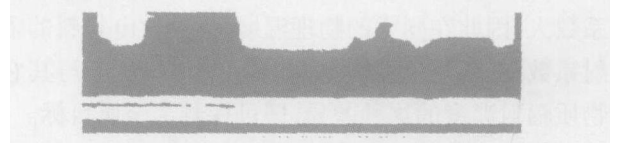


图 5 天空等背景干扰信息

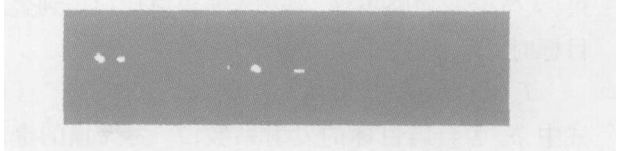


图 6 毫米波辐射图像中的金属目标

5 结论

为了在各种环境下实现金属目标的探测, 本文依据金属的毫米波辐射特性, 利用毫米波辐射计实现了目标场景的成像, 但由于存在发射率与金属接近的背景干扰, 于是采用图像处理算法去除了成像结果中的各种干扰背景, 成功检测出了探测场景中的金属目标, 为在军事应用中对各种金属目标进行探测提供了理论和实验依据, 为下一步目标的识别、跟踪与定位奠定了基础。

感谢西南交通大学基金资助!

参考文献:

- [1] 张祖荫, 林士杰. 微波辐射测量技术及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1995.
- [2] 王华力, 李兴国, 彭树生, 等. 被动毫米波成像技术 [J]. 红外与毫米波学报, 1997, 16(4): 297 - 302.
- [3] 李俊明, 张祖荫, 郭伟. 毫米波无源探测的信号仿真和特征研究 [J]. 微波学报, 2005, 21(2): 49 - 51.
- [4] 严金海, 李兴国, 汪敏. 毫米波辐射计探测直升机研究 [J]. 探测与控制学报, 2001, 23(4): 37 - 40.
- [5] 张光锋, 张祖荫, 郭伟. 3mm 波段辐射成像研究 [J]. 红外与毫米波学报, 2005, 24(6): 422 - 426.
- [6] 韩思奇, 王蕾. 图像分割的阈值法综述 [J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(6): 91 - 94.
- [7] Ostu N. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62 - 66.
- [8] Luigi Di Stefano, Andrea Bulgarelli. A simple and efficient connected components labeling algorithm [C]. Proceedings of IEEE ICIP, Sept 27 - 29, 1999: 322 - 327.